PART4 主系列星の質量と寿命

目標 主系列星の質量と光度の関係および質量と寿命の関係について説明できる。

Chapter1　主系列星の質量と寿命

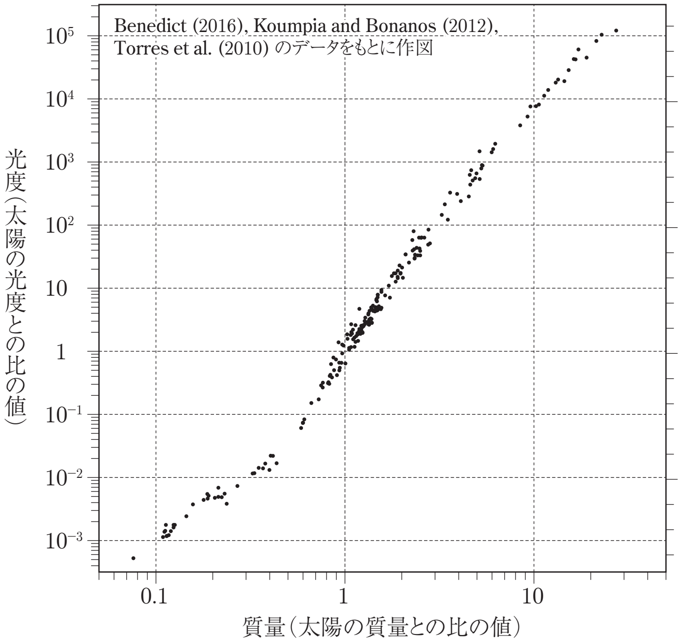
恒星にはさまざまな大きさのものがあり，質量もさまざまです。ここでは，主系列星の質量と光度の間にある関係や，質量と寿命との関係について学びましょう。

主系列星の質量光度関係と寿命

・質量光度関係とは

主系列星には質量と光度との間に一定の関係があることが知られており，これを**質量光度関係**という。

・質量光度関係のグラフ



知っておこう

質量光度関係のグラフは両対数グラフなので，少し読み取るのが難しいかもしれません。両対数グラフを読み取るときは，横軸の値が 10 倍になったときに縦軸の値が何倍になるか，に着目すると意味を考えやすいでしょう。

→太陽の 0.5 倍～ 30 倍の質量をもつ恒星は，光度が質量の 3 ～ 5 乗に比例する。

・質量光度関係と寿命

主系列星は，太陽のように水素の核融合で生じたエネルギーによって輝いている恒星である。そのため，主系列星について

・質量は核融合に使用できる水素の量に比例

・光度は核融合により単位時間に消費する水素の量に比例

と考えることができる。

よって，恒星の主系列星としての寿命，すなわち核融合に使用できる水素がなくなるまでの時間は，質量に（比例 / 反比例）し, 光度に（比例 / 反比例）する。質量光度関係を「光度が質量の 4 乗に比例する」と近似すると，恒星の寿命は質量の（3 乗 / 5 乗）に（比例 / 反比例）するといえる。すなわち，恒星の寿命は質量の大きいものほど（長い / 短い)。

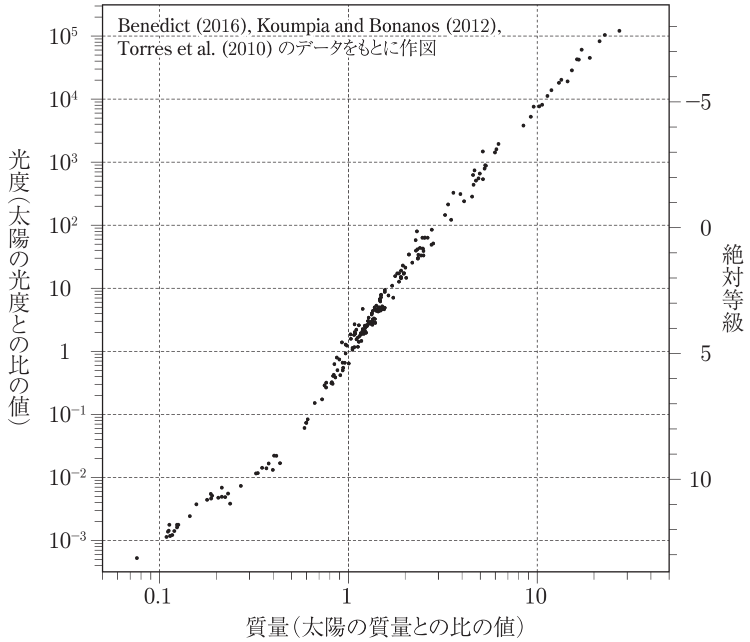
まとめ

・主系列星の質量と光度との間には__________と呼ばれる関係があり，光度は質量が大きいほど________。

・恒星の主系列星としての寿命は恒星の質量に________して光度に________するため，恒星の主系列星としての寿命は，質量の大きいものほど______。

Chapter2　演習問題

　次の図は，主系列星の質量光度関係を表しています。ここでは，主系列星の質量と寿命との関係について確認しましょう。



問題⑴　恒星の質量，光度，寿命の関係について述べた次の文章中の（　　　）について，正しいものを選びましょう。また，空欄［ **ア** ］～［ **カ** ］に入る式を答えましょう。

　太陽の質量を M_S，光度を L_S，寿命を t_S とする。また，恒星 A の質量を M，光度を L，寿命を t とする。

　恒星の寿命は質量に（比例 / 反比例）し，光度に（比例 / 反比例）するので，比例定数 k を用いて

$$t = k\,\frac{[\ \text{ア}\ ]}{[\ \text{イ}\ ]} \qquad \cdots\cdots\cdots ①$$

$$t_S = k\,\frac{[\ \text{ウ}\ ]}{[\ \text{エ}\ ]} \qquad \cdots\cdots\cdots ②$$

と表せる。①式と②式より，$\dfrac{M}{M_S}$，$\dfrac{L}{L_S}$，$\dfrac{t}{t_S}$ の間には

$$\frac{t}{t_S} = \frac{[\ \text{オ}\ ]}{[\ \text{カ}\ ]} \qquad \cdots\cdots\cdots ③$$

の関係があることがわかる。

問題⑵ 恒星の主系列星としての寿命について述べた次の文章中の空欄［ **キ** ］に入る数値を答えましょう。

太陽程度の質量の恒星には

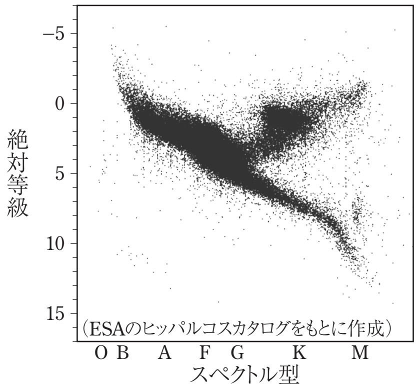
$$\frac{L}{L_S} = \left(\frac{M}{M_S}\right)^5 \quad \cdots\cdots\cdots④$$

の関係がある。このとき，③式と④式をもとにすると，

$$\frac{t}{t_S} = \frac{1}{\left(\frac{M}{M_S}\right)^{[\text{キ}]}} \quad \cdots\cdots\cdots⑤$$

が成り立つことがわかる。つまり，主系列星としての寿命は質量の［　キ　］乗に反比例する。

問題⑶ 次の HR 図を参考にして，下の文章中の（　　　）について，正しいものを選びましょう。



（ESAのヒッパルコスカタログをもとに作成）

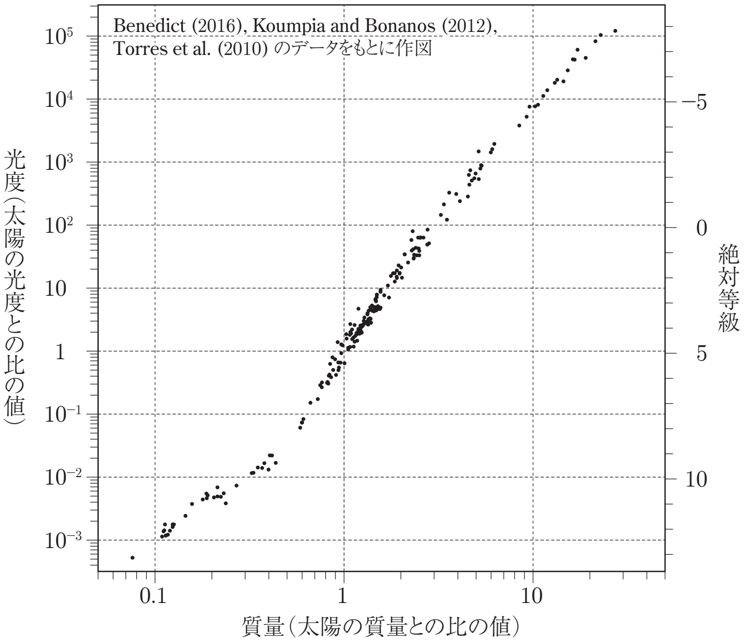
太陽の主系列星としての寿命は約（50 ／ 100）億年である。ここでは⑤式ではなく，質量光度関係のグラフを用いて，他の恒星の主系列星としての寿命を推定してみよう。

スペクトル型がB型で絶対等級が－5等級の主系列星は，光度が太陽の約（100 ／ 10000）倍，質量が太陽の約（10 ／ 30）倍である。よって，この恒星の寿命は約（1000 万 ／ 1 億）年である。

一方，スペクトル型が M 型で絶対等級が（0 ／ 10）等級の主系列星についても質量と光度をグラフから読み取って計算すると，この恒星の寿命は約（3000 万 ／ 3000 億）年だと推定できる。

第 20 講　PART4　確認問題

問 1　図は，主系列星の質量光度関係を示したものである。下の問いに答えよ。



(1)　図から，太陽の 10 倍の質量をもつ主系列星の光度は，太陽の光度の約何倍か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　10 倍　　②　100 倍
③　1000 倍　　④　10000 倍

(2)　恒星の主系列星としての寿命と質量との関係として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　恒星の寿命は，質量が大きいほど長い。
②　恒星の寿命は，質量が大きいほど短い。
③　恒星の寿命は，ある質量で最も長くなる。
④　恒星の寿命は，質量によらず一定である。

< Note >

第 20 講　恒星

PART1　天体の等級

問題(1)　ア：$\frac{1}{100}$　イ：n　ウ：$\frac{m}{5}$

問題(2)　エ：2　オ：$\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

問題(3)　カ：10　キ：$\frac{m-M}{5}$　ク：$\left(\frac{10}{d}\right)^2$　ケ：5　コ：5

PART2　恒星のスペクトル型

問題(1)　絶対温度，反比例，ウィーンの変位則，高く，低い，大気，Hα線，水素原子，高い

問題(2)　フラウンホーファー線

問題(3)　G 型

PART3　HR 図

問題(1)　ア：σT^4　イ：$4\pi R^2$　ウ：$4\pi\sigma T^4 R^2$　エ：$4\pi\sigma T_S^4 R_S^2$　オ：4　カ：2

問題(2)　【※図参照】

問題(3)　大きい，M 型，0.01 倍，大きい

PART4　主系列星の質量と寿命

問題(1)　比例，反比例

ア：M　イ：L　ウ：M_S　エ：L_S　オ：$\frac{M}{M_S}$　カ：$\frac{L}{L_S}$

問題(2)　キ：4

問題(3)　100，10000，10，1000 万，10，3000 億

PART5　太陽質量の恒星の一生

問題(1)　ア：4　イ：2　ウ：2　エ：4　オ：3　カ：7

問題(2)　キ：-3　ク：10

PART6　さまざまな恒星の一生

問題(1)　ア：$\frac{1}{16}$　イ：10000　ウ：160000　エ：400
2
オ：$\frac{1}{100}$
地球と同程度

問題(2)　100 万分の 1，1.4，10^{6}

問題(3)　60000，1.4，5×10^{14}

PART7　星団

問題(1)　暗く，低い，大きく，短い，大きな，種族Ⅱ，星団 X

問題(2)　散開星団，散光星雲，球状星団，星団 Y，星団 X

PART8　連星

問題(1)　15

問題(2)　第 3 法則，2.0
ア：3.2　イ：1.4　ウ：0.6

第 20 講　PART4　確認問題　解答

問 1

(1)　④

解説：

質量が 10 のときの縦軸の値を読みとると，10^4 なので，10000 倍となる。

(2)　②

解説：

恒星の主系列星としての寿命を核融合で使用する水素がなくなるまでの時間と考えると，質量が大きいほど寿命は短い。